

**ONTOLOGIA COMO BASE DE CONOCIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN
BIÓTICA DE LA CALIDAD DEL AGUA****ONTOLOGY AS KNOWLEDGE BASE FOR BIOTIC ASSESSMENT OF WATER
QUALITY**

MSc. José Julián Cadena Morales*, **PhD. Torcoroma Velásquez Pérez****,
MSc. Andrés Mauricio Puentes Velásquez***

Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña
Sede Algodonal Ocaña, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: (577) - 569 0088, Fax: (577) - 569 0088, Ext. 240.
E-mail: *jjcadenam@ufpso.edu.co, **tvelasquezp@ufpso.edu.co,
****ampuentesv@ufpso.edu.co**

Resumen: un sistema ontológico como herramienta en un dominio o subdominio específico, relaciona o interactúa con conjunto de partes armonizadas de un conocimiento real. En la ciencia de la computación está llena de desafíos, debido que experimenta una alta demanda de aplicaciones aun inexploradas en diferentes disciplinas, que permiten acumular y utilizar información de una manera ágil y organizada; en este caso, se desarrolla un prototipo ontológico, que permitirá monitorear ecosistemas dulceacuícolas mediante el componente biótico de una manera rápida y eficiente en la valoración de la calidad de agua.

Palabras clave: Ontologías, Representación de Conocimiento, Indicador de calidad del Agua, Macroinvertebrados Acuáticos.

Abstract: an ontological system as a tool in a specific domain or subdomain, related or interact with harmonized set of real knowledge parts. In computer science it is full of challenges, because experiencing a high demand for yet unexplored applications in different disciplines, which allow to accumulate and use information in a quick and organized way; in this case, an ontological prototype that will monitor freshwater ecosystems by biotic component quickly and efficiently in the assessment of water quality is developed.

Keywords: Ontologies, Knowledge Representation, Water Quality Indicator, Macroinvertebrados Aquatic.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un gran número de aplicaciones que hacen uso de contenidos multimedia. Ejemplo de ello, son las aplicaciones web que se crean diariamente en diferentes áreas como entretenimiento, educación, medicina y negocios, entre otros, que emplean imágenes, vídeos, textos, animaciones y audios (Sastoque *et al.*, 2014).

Para su diseño e implementación “Una ontología define conceptos, los componentes primitivos de la

representación, los integra en jerarquías y expresa sus propiedades en un lenguaje formal. Los conceptos se relacionan entre sí por su semántica, formándose redes asociativas mediante relaciones semánticas [...]” (Fernández-Ordoñez *et al.*, 2012). Por otra parte, en el artículo Ontologías para la Evaluación de Impacto Ambiental de las actividades humanas, “Las ontologías pueden ser utilizadas para modelar conocimiento pero también para almacenar información. La principal diferencia con las bases de datos tradicionales es que la información almacenada tiene semántica asociada, por lo que se puede realizarse inferencia

y razonamiento con ella” (Garrido, 2011). De igual manera, “en las ciencias de la computación, la inteligencia artificial y en particular la representación del conocimiento (RC), han evolucionado en una larga historia de aciertos y fracasos desde los años 70. La RC ha sido motivada por la creación de programas que simulen “comportamiento inteligente” incluyendo demostradores de teoremas matemáticos, redes de neuronas artificiales para resolver problemas, programas jugadores de ajedrez o sistemas expertos que capturen el conocimiento y experiencia humanos y apoyen tareas como el diagnóstico médico o la prevención de desastres industriales (Fernández-Ordoñez *et al.*, 2012).

Las ontologías, aunque su aplicabilidad es amplia, siempre es innovador un sistema ontológico en el área donde se aplique o se mejore una ya creada. Desde el punto de vista ambiental, es novedosa su aplicación, en el sentido que garantiza mejorar la dispersión de información relevante, centralizándola en un solo sistema, pudiendo ser aprovechada ágilmente en la gestión ambiental en sistemas hídricos, suelos, aire, biodiversidad e incluso en la legislación ambiental que es tan amplia en Colombia.

En este sentido, conociendo las falencias de representación formal del conocimiento para la protección y/o conservación de la biodiversidad, al igual de herramientas para realizar diagnóstico de los recursos hídricos en el país; por tanto, es necesario una ontología específica para el monitoreo de calidad del agua mediante el componente biótico (macroinvertebrados), debido que se sabe que existe información relevante y dispersa de insectos asociados a calidad del agua, que se debe integrar en un dominio específico.

De esta forma, el diseño e implementación de una herramienta es de gran aporte para la Gestión y Evaluación Ambiental de la calidad del agua, la cual se sustenta en los nuevos lineamientos para la Formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico en Colombia (MADS, 2014). El documento técnico recoge de manera explícita las directrices a tener en cuenta para el diagnóstico del proceso de ordenamiento del recurso hídrico en el país, exponiendo que para avanzar en la línea base es necesario los monitoreos de macroinvertebrados acuáticos con el propósito de analizar el estado ecológico del sistema hídrico, siguiendo el método del Índice Cualitativo BMWP adaptado para Colombia según Roldan (2003).

Con el fin de llevar acabo el diseño de la ontología, en la cual se integrara el conocimiento disperso de indicadores biológicos de calidad del agua asociados a la ponderación establecida para familias taxonómicas de acuerdo a la tolerancia según el BMWP/Col., adaptado por Roldan, (2003), se sigue la metodología Methontology la cual fue desarrollada dentro del Grupo de Ingeniería ontológica de la Universidad Politécnica de Madrid, además que se desarrolla a partir del aplicativo Protégé OWL v.4.0, que es de código abierto y que proporciona una arquitectura extensible para la creación de aplicaciones de bases de conocimiento personalizadas.

1.1 Inicios de la bioindicación de calidad de aguas en Colombia.

Los estudios en Colombia con respecto a los estudios limnológicos dan inicio en los años setenta de una forma detalla a cerca de ríos, ciénagas, lagos y embalses” (Roldan y Ramírez, 2008). En el campo de los macroinvertebrados y organismos de agua dulce, existe una amplia información como indicadores de calidad del agua, dando sus frutos partir de 1992, donde sobresalen los trabajos de: De Gaviria (1993), Rocha (1994), Zamora y Roesler (1995, 1997), Quiñones y Roldan (1998). Sin embargo, uno de los mejores exponentes de la limnología en el país, Gabriel Roldan, publica su libro sobre la bioindicación en Colombia, usando los macroinvertebrados como indicadores bióticos de la calidad del agua, proponiendo la metodología del índice Biological Monitoring Working Party Colombia -BMWP/Col (Roldan, 2003), el cual es producto después de múltiples estudios en ecosistemas dulceacuícolas (Roldan, 1997, 1988, 1999, 2003, 2008). Sin embargo, para algunas cuencas del Valle del Cauca, es donde se adopta por primera vez el método BMWP (Zúñiga de Cardozo *et al.*, 1997). De igual manera el mismo índice se adapta para el río Pamplonita (Sánchez, 2005), modificado y adaptado al cauce principal de dicho río de norte de Santander, en el que se ajusta las familias taxonómicas para esta cuenca. Por otro lado, Álvarez (2005), modifica el índice BMWP/Col., adiciona nuevas familias que enriquecen el índice para las cuencas del país aplicadas a la zona andina.

El índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, índice que permite

determinar la calidad del agua a través de puntuaciones dadas a las familias según su grado de tolerancia a la eutrofización (Roldan, 2003). De esta manera, el uso de macroinvertebrados para valorar y determinar la calidad del agua, según muchos autores, entre ellos Hellawell (1978), Alba-Torcedor (1996) sostiene que los macroinvertebrados es el método mayormente utilizado para determinar la calidad de las aguas teniendo en cuenta el componente biótico. Por otra parte, para Alba-Torcedor (1996), la composición de macroinvertebrados acuáticos es de gran importancia para evaluar la calidad de las aguas debido que estos organismos determinan la calidad tiempos antes y después, basados en la presencia ausencia de macroinvertebrados, mientras que las variables fisicoquímicas solo son puntales en el tiempo. En este sentido, tal como se expone en la tabla 1, el uso de macroinvertebrados como indicadores de calidad del agua se basa en el hecho de que dichos organismos ocupan un hábitat a cuyas exigencias ambientales están adaptados. Cualquier cambio en las condiciones ambientales se reflejara, por tanto, en las estructuras de las comunidades” (Roldan y Ramírez, 2008).

Tabla 1. Clases de calidad, significación de los valores del B.M.W.P/Col

Clase	Calidad	Valor (BMWP)	Significado	Color
I	Buena	> 150	Aguas muy limpias	Azul
		101-120	Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible	
II	Aceptable	61-100	Ligeramente contaminadas: se evidencian algunos efectos de contaminación.	Verde
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	Amarillo
IV	Critica	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
V	Muy critica	< 15	Aguas fuertemente contaminadas, situación critica	Rojo

Fuente: Roldan y Ramírez (2008, p. 346).

Por otro lado, Alba-Torcedor, (1996), expresa: al evaluar la calidad de las aguas mediante el estudio de la composición y estructura de comunidades de organismos surge el término de calidad biológica. Se considera que un medio acuático presenta una buena calidad biológica cuando tiene unas características naturales que permiten que en su seno se desarrollen las comunidades de organismos que les son propias.

Es por tanto, importante reconocer el gran valor que tiene la bioindicación como método para evaluar la calidad del agua. La presencia de una comunidad en un cuerpo de agua determinada es un indicador inequívoco de las condiciones que allí están prevaleciendo y que las fluctuaciones de contaminación que pueda presentarse, no son lo suficiente fuerte como para provocar un cambio significativo en la misma [...] (Roldan, 1999).

1.2 Aplicaciones ontológicas a los recursos naturales

Las ontologías exhiben características especiales para la representación del conocimiento y el procesamiento de este en sistemas inteligentes (Flores, 2011). Es importante anotar que las ontologías son desarrolladas de acuerdo a las necesidades específicas y de acuerdo a un dominio en particular; es por ello, que los sistemas ontológicos dan soluciones a distintas áreas del conocimiento en una representación formal sencilla y capaz de integrar e interactuar el conocimiento en un sistema interconectado. De igual manera se expresa que las ontologías son aplicaciones reales, un recurso que contiene un conocimiento que existe en el mundo y que se relacionan entre sí (Mahesh, 1996). Dependiendo del contexto en el que se usen, las ontologías proporcionan una forma de compartir el conocimiento utilizando un vocabulario común, permiten el etiquetado semántico o el intercambio de conocimiento, dan un protocolo de comunicación, posibilitan la reutilización de conocimiento o permiten descripciones semánticas, lógicas y formales (Garrido y Riquena, 2010).

En este sentido, aunque los estudios en el país son pocos, en otros países como España, ha evolucionado en esta disciplina de una forma considerable, así por ejemplo los avances en el modelo metodológico para su desarrollo denominado Methontology, ideada por el Ontology Group de la Universidad Politécnica de Madrid. Es así, que en la búsqueda sistemática de aplicaciones de esta herramienta, se encontró una ontología de insectos acuáticos para Venezuela, aplicación

basada en conocimientos, “un Sistema Experto (SE), que permite identificar especies de insectos acuáticos del Orden Plecóptera, Género Anacroneuria, a partir de características morfológicas. El SE cuenta con la funcionalidad de orientar a los usuarios durante el proceso de identificación [...]” (Fernández-Ordoñez et al., 2006). De igual manera, para el mismo país, desarrollan una ontología que consiste en una aplicación en ambiente web para la visualización de la ontología de insectos acuáticos, el diseño permite acceder a este conocimiento de manera sencilla sin límites espaciales en cualquier ubicación geográfica; en ella se presenta una aplicación de visualización para ambiente Web, la cual le ofrece a los usuarios funcionalidades como: navegar en la Ontología y consultar el contenido de la misma de forma gráfica y textual, visualizar imágenes asociadas a instancias específicas, descargar documentos, y acceder a sitios de interés asociados con el dominio (Ramos & Núñez, 2007).

En este orden, para Venezuela igualmente, Flores (2011), diseña e implementa una ontología a partir de la aplicación de la metodología Methontology, cuyo dominio específico es la Microbiología, con el fin de dar solución a la identificación de Bacilos Gram Negativos no Fermentadores de la Glucosa (BGNF), la que permite agilizar este proceso. Por otra parte, para Ecuador y Perú, se tiene la propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en estos países (Acosta, 2008), lo que agiliza la toma de decisiones para la conservación y ordenamiento de la cuenca.

Para Colombia, aunque los estudios de sistemas ontológicos aplicados en la rama de la biodiversidad son pocos, se presenta una ontología para la Búsqueda Semántica de Géneros de Orquídeas de la Flora Colombiana (Puentes, 2010). De igual manera, para la región del Catatumbo, Norte de Santander, Velásquez *et al.*, (2012), establece la creación de una ontología que contiene los aspectos más sobresalientes de la ictiología de la cuenca del Catatumbo, en ella se expone de manera clara la interconectividad para la identificación taxonómica de la fauna ictiológica de esta cuenca, siendo de gran valor para la conservación de los peces que hoy día están amenazados. Igualmente se presenta una ontología, un Sistema de Información Herbario para la Universidad Francisco de Paula Santander, la que permite almacenar e identificar la flora del Catatumbo (Meneses y Quintero, 2012). Por otro lado, Medina (2012), presenta la implementación

de una otología en el área de la acuicultura, donde establece una Web semántica y la ontología de dominio aplicadas a esta rama, con el fin de dar solución en la determinación taxonómica.

Por otra parte, desde el punto de vista ambiental, en la evaluación de impactos ambientales (EIA), se presenta el trabajo de Garrido (2011), en el que propone una utilización ontológica que garantiza utilizar mejores técnicas de esta rama del conocimiento, dada la complejidad de las EIA. De igual manera, se presenta una ontología para proyectos mineros (Montes de Oca-Pérez y Rosario-Ferrer, 2004, Moreno et al., 2013). En los sistemas geoespaciales, las otologías también han tenido sus acogidas formales en este campo. En este sentido, se tienen los trabajos de Vilches et al., (2008); Larin-Fonseca y Garea-Llano (2013); Vilches-Blázquez y Ramos (2012), en el que se expone los diferentes enfoques existentes para llevar a cabo la confluencia semántica entre diversos conjuntos de datos geoespaciales, información geográfica y la definición de los significados de los fenómenos coherentes de la realidad.

En este sentido, se ha identificado que para Colombia, los trabajos ontológicos aún son lentos, pero que se ha centrado más a dar soluciones en gestión de redes y aplicaciones multimedia.

2. Diseño conceptual del prototipo e instancias del sistema ontológico

El desarrollo de ontologías es una actividad que requiere ingeniería (Caballero A. et al., 2013), debido a la formalidad requerida para la gestión y representación del conocimiento; es por esto que existen diversas metodologías que abarcan todas las actividades, incluyendo las orientadas al desarrollo y las de soporte. Para el presente trabajo, se tuvo en cuenta la metodología simplificada de ingeniería de conocimiento (Noy y McGuinness, 2001) que afirma que no existe una sola metodología correcta para desarrollar ontologías, y aborda de manera sencilla los pasos más importantes del proceso de desarrollo reuniéndolos en un procedimiento de carácter iterativo, que se llevara a cabo a lo largo de todo el ciclo de vida de la ontología. El procedimiento definido se puede resumir en la ejecución de las siguientes actividades:

Paso 1. Determinar el dominio y alcance de la ontología.

Paso 2. Considerar la reutilización de ontologías existentes.

Paso 3. Enumerar términos importantes para la ontología.

Paso 4. Definir las clases y la jerarquía de clases.

En la figura 1 se puede apreciar una vista de la taxonomía inicial de clases tal como la genera el plugin OntoGraf del software de edición de ontologías Protégé.

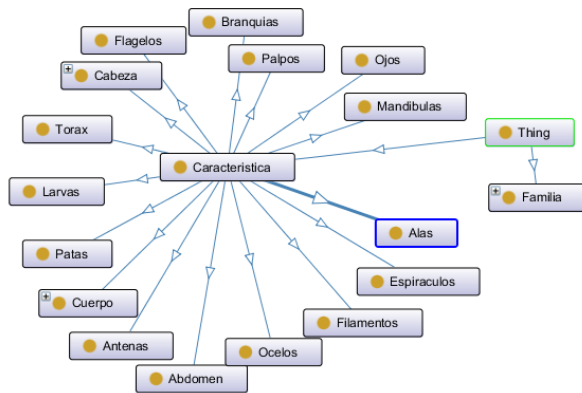


Fig. 1 Taxonomía de conceptos

Paso 5. Definir las propiedades de las clases: slots.

Paso 6. Definir las facetas de los slots.

Paso 7. Crear instancias.

En la figura 2, se aprecia un esquema de los primeros macro invertebrados organizados como instancias de la clase familia. Este estilo de modelado permite que en este punto del desarrollo se creen las instancias de cada familia y se llenen por dentro de cada instancia todos los datos para describir a cada familia, teniendo en cuenta las características previamente descritas y relacionadas.

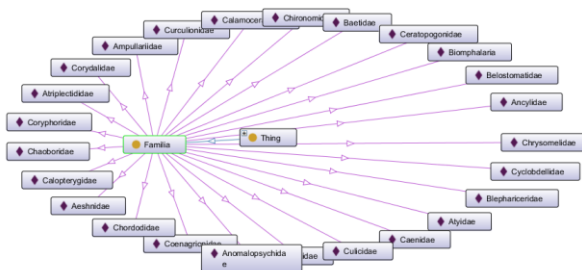


Fig. 2. Esquema de Instancias de Familia.

Teniendo en cuenta la alta diversidad de macroinvertebrados acuáticos a nivel de familias taxonómicas para cuencas hídricas en Colombia, y por ende validadas como indicadores de calidad de aguas por su eficiencia para evaluar la calidad

a partir de contaminación orgánica, además útiles para índices bióticos de evaluación de ecosistemas acuáticos de acuerdo al grado de tolerancia a la contaminación, se propone un sistema ontológico formal de conocimiento cuyo dominio corresponde a los macroinvertebrados acuáticos asociados al Índice Biótico de calidad BMWP/Col.

De esta manera, la finalidad explicita del proyecto, es integrar el índice biótico BMWP/Col (Roldan, 2003, 2008), asociado a los macroinvertebrados acuáticos, con el fin de adaptar y organizar sistemáticamente la terminología de este dominio en particular, que permita explícitamente solucionar el problema de información dispersa de estos insectos acuáticos para el país, pudiendo así centralizar el conocimiento en el sistema ontológico de una manera ágil y eficaz para la identificación y la evaluación de calidad del agua, que sean aplicadas a la investigación formativa y científica de una manera adecuada y confiable. Además, esta herramienta tendrá la ventaja de ser manipulada por expertos o interesados en el tema de calidad de ecosistemas acuáticos. De igual forma, el aplicativo tendrá la capacidad de ser cargada y editada, teniendo en cuenta que debe ser actualizada a la medida que surjan cambios, debido que se entiende que existe un continuo avance a nivel tecnológico, al igual, que pueden haber nuevos taxa que deben ser cargados en el prototipo con el fin de que no quede desactualizada en un futuro.

2.1 Preguntas, elementos e instancias de la ontología

Para facilitar la determinación del ámbito de la ontología fueron elaboradas un conjunto de preguntas de competencias para establecer sus límites. Las siguientes preguntas, entre otras, sirvieron como preguntas de competencia para llevar a cabo el prototipo:

1. ¿Qué organismos acuáticos están presentes para determinar la calidad del agua?
2. ¿Cómo se relaciona los organismos con la ponderación de calidad en el sistema?
3. ¿Qué características diferentes y comunes son relevantes para la identificación de insectos acuáticos?
4. ¿Cómo se ajustaría el índice BMWP/Col para valorar la calidad del agua?
5. ¿Cómo se determinaría los caracteres taxonómicos en lenguaje común para la identificación de los taxa?

En una primera etapa fueron identificados los elementos principales del ámbito de la ontología, lo que permitió la creación de la jerarquía de conceptos y la definición de las propiedades de estos.

Los elementos de información principales son los siguientes:

- La comunidad de macroinvertebrados acuáticos a nivel de familias identificados para el índice BMWP/Col.
- Las caracteres taxonómicos relacionadas con las estructuras observables de macroinvertebrados
- Las clases de calidad del agua asignadas en el BMWP/Col de acuerdo al grado de contaminación
- Las puntuaciones asignadas por familias de macroinvertebrados de acuerdo al grado de tolerancia a la contaminación según el índice BMWP/Col.

En relación a los términos tratados anteriormente, existen otros términos importantes:

Índice de Calidad BMWP/Col: índice Biological Monitoring Working Party (BMWP), que fue establecido en Inglaterra en 1970, como un método sencillo y rápido para evaluar la calidad del agua usando los macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores, permite determinar la calidad del agua a través de puntuaciones dadas a las familias según su grado de tolerancia a la eutrofización, el cual ha sido adaptado para Colombia (Roldan, 2003).

Macroinvertebrados: Los macroinvertebrados acuáticos se definen como aquellos organismos que se pueden ver a simple vista; es decir, todos aquellos organismos que tengan tamaños superiores a 0.5 mm de longitud. El uso de macroinvertebrados como indicadores de calidad del agua se basa en el hecho de que dichos organismos ocupan un hábitat a cuyas exigencias ambientales están adaptados. Cualquier cambio en las condiciones ambientales se reflejara, por tanto, en las estructuras de las comunidades (Roldan & Ramírez, 2008, p. 339). *Puntuaciones de tolerancia:* valor asignado a las familias de macroinvertebrados según su grado de tolerancia a la eutrofización, que permiten a partir de la sumatoria total determinar la clase y calidad del agua de un sistema dulceacuícola.

Caracteres taxonómicos: los caracteres taxonómicos lo consideramos como todas aquellas

estructuras y/o características descriptivas observables de un organismo, que permite la distinción diagnóstica de otros organismos, las cual se convierte en la herramienta útil para la clasificación jerárquica de los taxa.

Con el fin de elaborar la jerarquía de los conceptos o clases que componen la ontología se realizó utilizando un enfoque de arriba a abajo (top-down) sugeridos por Montes de Oca-Pérez y Rosario-Ferrer (2004), en el que primeramente se definen los conceptos más generales y posteriormente sus especializaciones.

Una clase o concepto en estudios de diagnóstico ecológico del recurso hídrico a nivel general corresponde a indicadores bióticos es Proyecto de evaluación de la calidad del Agua. Las evaluaciones del agua se dividen en monitoreos, luego Identificación de taxa, puntuaciones, clases y estas, finalmente, en diagnóstico de calidad.

Las clases y la calidad son el eje principal de las instancias de relaciones de familias taxonómicas, éstas se valoran cualitativamente de acuerdo a las características de cada taxa, a diferencia de las puntuaciones que son cuantitativas, las cuales está dada para cada familia taxonómica, que permite a su vez determinar la sumatoria de calidad del agua según el índice BMWP/Col. De igual manera, fue necesario tener en cuenta algunas restricciones que permitió mantener la consistencia de la información representada en la ontología.

A continuación se mencionan algunas de las que fueron tomadas en cuenta para el diseño que se presenta:

- Cada taxón a nivel de familia pertenece al sistema de calidad
- Cada clase y/o calidad del agua pertenece a un subsistema de calidad
- Varias familias pueden pertenecer a la misma puntuación dentro de un subsistema
- Cada puntuación asignado para medir la calidad del agua debe pertenecer al conjunto de ponderaciones utilizadas para determinar la clase y calidad del agua.

En la Figura 3, se muestra la arquitectura de funcionamiento de la base de conocimiento.

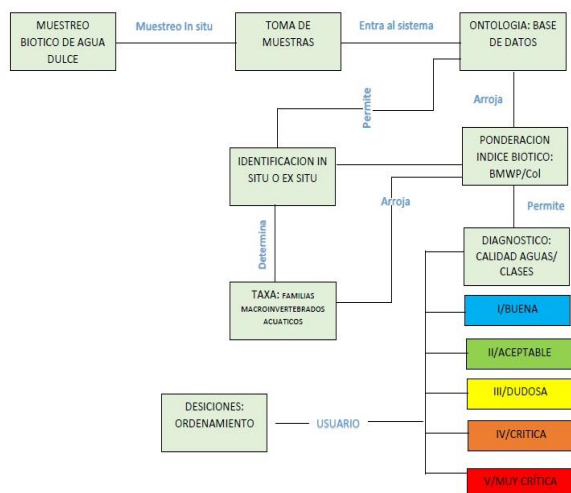


Fig. 3 Arquitectura de la base de conocimiento

La creación de las instancias del prototipo ontológico se llevó a cabo a través la herramienta Protégé, quedando de la siguiente manera:

- Instancias de la clase identificación de familias. Por ejemplo FormaCuerpo, tiene entre otras, las siguientes instancias: FormaElíptica, FormaDelgada, FormaOval, FormaRobusta, FormaC.
- Instancias de la clase Puntuaciones. Por ejemplo tiene dos instancias: PuntacionFamilia, ToleranciaContaminación.
- Instancias de la clase Diagnóstico clase de calidad. Por ejemplo, tiene las siguientes instancias: CategoríaClase: ClaseUno, ClaseDos, ClaseTres, ClaseCuatro, ClaseCinco
- Instancias de la clase Diagnóstico de Calidad. Por ejemplo, tiene las siguientes instancias: CalidadAgua, CalidadBuena, CalidadAceptable, CalidadDudosa, CalidadCritica, CalidadMuyCritica.

3. CONCLUSIONES

En el marco actual para la formulación de ordenamientos del recurso hídrico de Colombia, siguiendo los lineamientos y políticas del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), anticipa a la gestión ambiental del país a ser prospectivos a la conservación a la medida que se cumplan las directrices acatadas por los entes territoriales CARs, ONG, Universidades y comunidad en general.

Como resultado de este proyecto de investigación, se realizó el diseño de un prototipo ontológico basado en indicadores de calidad del agua como una herramienta clave para los monitoreos del

recurso hídrico con miras a su ordenamiento, el cual es un apoyo para entidades ambientales, universidades, expertos y no expertos ya que utiliza un lenguaje real y común para el almacenamiento e intercambio de información.

Por otra parte, la ontología, permitirá ser utilizada sin límites geoespaciales en monitoreos in situ o trabajos ex situ, lo que garantizará en tiempo real la identificación y valoración de la calidad del agua de una manera eficaz, fortaleciendo de decisiones concretas para la gestión ambiental del recurso hídrico en el país.

4. RECONOCIMIENTO

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos A la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por la financiación del proyecto y a la Universidad Sergio Arboleda-Instituto de Investigaciones IDEASA. A todas las personas, profesionales y colegas de la UFPS Ocaña.

REFERENCIAS

- Álvarez, L. (2005). *Desarrollo para una metodología para la evaluación de los macroinvertebrados acuáticos como indicadores de los recursos hidrobiológicos*. Contrato N° 05-01-24843-0424PS entre Determinación de la calidad del agua el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos “Alexander von Humboldt” y Luisa Fernanda Álvarez Arango.
- De Gaviria E. (1993). *Claves para las especies colombianas de las familias naidae y Tubificidae (Oligochaeta, Annelida)*. *Revista Caldasia*, 17(2), 237-248
- Fernández-Ordoñez Y., Medina R. R. Carolina, Soria-Ruiz J. y Jorge R. Gutiérrez P (2012). *Representación del conocimiento: desarrollo de ontologías*. *Revista Electrónica de Socioeconomía, Estadística e Informática (RESEI)*, 1(1), 6-19.
- Garrido S. J. (2012). *Ontologías para la evaluación de Impacto Ambiental de las actividades humanas*. Tesis doctoral. Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial. Universidad de Granada, E.T.S de Ingeniería Informática y de Telecomunicación. 252 p.
- Meneses G. Daniel C. y Alexander Quintero D. (2012). *Desarrollo e integración de una ontología y un sistema de información herbario para el apoyo a la caracterización florística de la zona del Catatumbo*. Trabajo de grado. Universidad Francisco de Paula Santander - Ocaña - Facultad de Ingeniería de Sistemas. Ocaña-Colombia. 133 pp.
- Noy, N. F., y McGuinness, D. L. (2001). *Ontology development 101: A guide to creating your first ontology*.

- Puentes A. (2010). *Ontología para la Búsqueda Semántica de Géneros de Orquídeas de la Flora Colombiana*. Trabajo presentado en el evento Internacional "VII Pan-American Workshop in Applied & Computational Mathematics" en Choroní, Venezuela Junio
- Quiñones M. L. y J. J. Ramírez (1998). *Estructura numérica de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos derivadores en la zona rítral del río medellín*. Revista *Actualidades Biológicas.*, 20: 61-73
- Rocha, M. C. (1994). *Diversidad en Colombia de los cangrejos del genero Neostrengeria*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección Jorge Álvarez Lleras No. 5.
- Roldan, G. (1997). *Development of limnology in the neotropics*, en: *Wissenschaftler Austausch und entwicklungszusammenarbeit vor der jahrtausendwende*, Nomos Verlagsgesellschaft, baden, 367-370
- Roldán, G. (1998). *Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia*. Pama Editores Ltda. Bogotá, Colombia. 217 pp.
- Roldán, G. (1999). *Los Macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias exactas, físicas, y naturales, 23(88), 375-387.
- Roldán G. (2003). *Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia, propuesta para el uso del método BMWP - COL*. Colección ciencia y tecnología. Editorial Universidad de Antioquia. 168 p.
- Roldan P. Gabriel y John J. Ramírez R. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Segunda edición. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín. Col.
- Sastoque H. S., Narváez A. C. y M. Iregui G. (2014). *Modelo basado en conocimiento ontológico para la personalización de aplicaciones multimedia*. Universidad de Manizales- Facultad de Ingenierías. *Revista informática*, 30:175-191
- Zamora, H. y E. Roesler (1995). *Descripción morfológica y taxonómica de una nueva especie de Anacroneuria* (Insecta-Plecoptera). Revista Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas, 9(4-2): 85-98
- Zamora, H. y E. Roesler (1997). *Numero de estudios nayadales, ciclo biológico y patrón de crecimiento de Anacroneuria caucana* (Insecta-Plecoptera). *Unicauca ciencia*, 2:15-24
- Zúñiga De Cardozo, M. Del C.; A. M. Rojas De Hernández y S. Mosquera. (1997). *Biological aspects of Ephemeroptera in rivers of southwestern Colombia (South America)*, 261-268. En: P. Landolt & M. Sartori (Eds.) *Ephemeroptera and Plecoptera: Biology- Ecology- Systematics*. Mauron-Tinguely and Lachat S.A. Fribourg, Switzerland.
- SITIOS WEB**
- Acosta, R., Rios B. Rieradevall M. y Narcis Prat. (2008). *Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecologica de rios andinos (CERA) y su aplicacion a dos cuencas en Ecuador y Peru*. Grupo de Investigacion FEM (Freshwater Ecology and Management). Departament de Ecología. Universidad de Barcelona. *Limnetica*, 28 (1), 35-64 (2009).
<http://www.ub.edu/riosandes/docs/Limnetica%2028%281%29%2004%20Acosta.pdf>
- Alba-Tercedor J. (1996). *Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos*. IV Simposio del Agua en Andalucía (SIAGA), Almería, España: 203-213.
http://www.limnetica.com/Limnetica/Limne21/L21b175_Indice_IBMWP_estado_ecologico_rios_mediterraneos_ibericos.pdf
- Fernández V., Rojas A., Ramos E., Núñez H., Castro M. y Cressa C. (2006). *Método Commonkads para el Desarrollo de un Sistema Experto en Ambiente Web para la Identificación de Especies de Insectos Acuáticos*. Revista *Sistemas, Cibernética e Informática*. Vol 3 (1): 73-78.
http://www.researchgate.net/publication/228819952_Mtoto_Commonkads_para_el_Desarrollo_de_un_Sistema_Experto_en_Ambiente_Web_para_la_Identificacin_de_Especies_de_Insectos_Acuticos
- Flores Vitelli, I. (2011). *Aplicación de METHONTOLOGY para la Construcción de una Ontología en el Dominio de la Microbiología. Caso de Estudio: Identificación de Bacilos Gram Negativos no Fermentadores de la Glucosa (BGNNF)*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-25562007000200007
- Garrido J. y I. Requena. (2010). *Gestión de conocimiento aplicado a evaluación de impacto ambiental mediante ontologías*. Revista *Ambientalia*, 1: 129-140.
http://www.ugr.es/~ambientalia/articulos/art_recientes/10_Garrido_Requena%282010%29_Ambientalia_es.pdf
- Hellawell, J. M. (1978). *Biological surveillance of rivers*. *Water Res.* CCentre, Stevanage. xii + 332 p. (Typewriter composition.)
http://aslo.org/lo/toc/vol_24/issue_4/0793.pdf
- Larin-Fonseca R. y Eduardo Gareal-Llano. (2013). *Método de Enriquecido Semántico para la Integración de Objetos Geoespaciales*. Ciencias de la Tierra y el Espacio, 14 (1), 60- 69
http://www.iga.cu/publicaciones/revista/cte_14_n1/Art6/06.ObjetosGeoespaciales.pdf
- Mahesh, K. (1996). *Ontology Development for Machine Translation: Ideology and Methodology*. NMSU. Computing Research Laboratory. Technical Report MCCS-96-292. New Mexico
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.47.3449&rep=rep1&type=pdf>
- Medina, R. R C. (2012). *La Web semántica y las ontologías de dominio aplicadas a la acuicultura*. INFOTEC
http://www.infotec.com.mx/en_us/infotec/articulo_web_semantica_ontologias_aplicadas_acuicultura
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía Técnica para la Formulación de Planes de Ordenamiento del Recurso Hídrico en Colombia*. Dirección Integral del Recurso Hídrico. 58 p.

- https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/guia_tecnica_para_la_formulacion/GU%C3%8DA_T%C3%89CNICA_POR_H.pdf
- Montes de Oca - Pérez, Ariel; Rosario - Ferrer, Yiezenia. (2014). Ontología de evaluación de impacto ambiental para proyectos mineros. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr Antonio Nuñez Jiménez' Holguín, Cuba. Revista Minería y Geología, 30 (1), 104-117. <http://www.redalyc.org/pdf/2235/223531234008.pdf>.
- Moreno Rubio J., Jiménez López A, Barrera Lombana N. (2013). El amplificador de potencia de carga sintonizada. Revista colombiana de tecnologías de Avanzada. 2(22). Pág. 9 – 13
- Caballero Amaury, Velasco Gabriel, Pardo Garcia A. (2013). Differentiations of objects in diffuse databases. Revista colombiana de tecnologías de Avanzada. 2 (22). Pág. 131 – 137
- Ramos Esmeralda y Haydemar Núñez (2007). ONTOLOGÍAS: componentes, metodologías, lenguajes, herramientas y aplicaciones - Reporte Técnico: RT-2007-12. Lecturas en Ciencias de la Computación ISSN 1316-6239. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. 45 p. <http://lia.ciens.ucv.ve/LIA/publicaciones.php>
- Sánchez-Herrera M. J. (2005). *El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río pamplonita norte de Santander*. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, 3(2), 54-67. <http://www.redalyc.org/pdf/903/90330207.pdf>
- Velásquez P. T., Puentes V. A. M. y López V. L. E. (2012). *Ontological representation of Catatumbo fish*. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada, 1(19), 35-41. http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_40/recursos/04_v19_24/revista_19/08022012/06.pdf
- Vilches B., L. M., Ramos G. J. A., Corcho O. y Capdevila J. S. (2008). Hacia una armonización semántica de la información geográfica. Revista Segon Congrés Català de Geografia. p. 727-736. <http://revistes.iec.cat/index.php/TSCG/article/view/37496/37479>
- Vilches-Blázquez, L. M. y Ramos Gargantilla, J. A. (2012). *Conflación semántica: un estudio sobre la integración de información geoespacial basada en ontologías*, GeoFocus, 12:147-171. http://geofocus.rediris.es/2012/Articulo7_2012.pdf